

DISAIN PROTOTIPE SEL SURYA DSSC (DYE SENSITIZED SOLAR CELL) LAPISAN GRAFIT/TiO₂ BERBASIS DYE ALAMI

Helga Dwi Fahyuan¹, Samsidar¹, Faizar Farid², Heriyanti², SampeNapitupulu¹, dan Sarina Pakpahan¹

1. Prodi Fisika, FST, Universitas Jambi, Jl. Raya Jambi – Muara Bulian KM. 15 Mandalo Darat, Jambi, 36361, Indonesia

2. Prodi Kimia, FST, Universitas Jambi, Jl. Raya Jambi – Muara Bulian KM. 15 Mandalo Darat, Jambi, 36361, Indonesia

E-mail: helga_dwifahyuan@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang Disain Prototipe Sel Surya DSSC Lapisan Grafit/TiO₂ Berbasis Dye Alami yaitu kulit manggis dan buah delima. DSSC dibuat dengan lapisan tipis TiO₂ yang didoping grafit sebesar 0%, 8%, 10%, 12% dan 14%. Lapisan grafit/TiO₂ dianalisis menggunakan UV-Vis, X-Ray Diffractometer (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM) diperoleh energy gap dan ukuran Kristal terkecil pada pendopingan 14% yaitu sebesar 2,2 eV dan 52,72 nm serta ukuran partikel berada dalam range 0,19 μm s/d 0,25 μm . Karakteristik I-V menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi pada sel surya TC14M yaitu sel surya dengan pendopingan grafit 14% menggunakan dye kulit manggis sebesar 2,68% pada intensitas penyinaran 250 Lux.

Kata kunci: Dye alami, TiO₂, Efisiensi, DSSC

Abstract

[Title: Solar Cell Prototype Design Of Dssc (Dye Sensitized Solar Cell) Graphite Coating / Tio2 Based On Natural Dye] A research on Solar Cells Prototype Design DSSC Layer Graphite / TiO₂-Based Natural Dye by using skin mangosteen and pomegranate has done. DSSC is made with a thin layer of TiO₂ doped graphite at 0%, 8%, 10%, 12% and 14%. Graphite layer / TiO₂ was analyzed by using a UV-Vis, X-Ray Diffractometer (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM), obtained energy gap and the size of the smallest crystals in dopping 14% in the amount of 2.2 eV and 52.72 nm and the particle size is in the range of 0.19 - 0.25. Based on I-V characteristic showed that the highest efficiency solar cells TC14M with 14% graphite by using mangosteen skin dye at 2.68% at the intensity of 250 Lux.

Keywords: Natural dye, TiO₂, efficiency, DSSC

PENDAHULUAN

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) adalah jenis sel surya yang tersusun dari tiga komponen utama yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembanding (*counter electrode*) dan larutan elektrolit [1]. Elektroda kerja terdiri dari kaca konduktif transparan, seperti *Flour Doped Tin Oxide* (FTO), lapisan semikonduktor TiO₂ dan lapisan aktif dye. Elektroda pembanding terdiri dari kaca konduktif transparan (FTO) yang dilapisi misalnya lapisan karbon [2] atau platinum [3]. Elektrolit yang digunakan adalah elektrolit iodin triiodida dengan pasangan redoks(I⁻/I₃⁻).

Ada beberapa permasalahan utama yang terdapat dalam sel surya berbasis TiO₂ ini dan berimplikasi pada rendahnya efisiensi yang dihasilkan. Permasalahan pertama adalah efisiensi penyerapan foton yang sangat kecil yaitu sebesar 5%. Ini disebabkan oleh *bandgap* TiO₂ yang cukup lebar, yaitu 3,2 sampai 3,8 eV [4], [5]. Permasalahan

kedua adalah penggunaan dye sintetis yang mengandung bahan *ruthenium kompleks*, seperti N719 dan N3. Walaupun menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi, dye dari bahan ini ketersediaannya di alam sangat terbatas yang menyebabkan harganya mahal dan tidak mudah disintesis. Permasalahan ini sudah dapat diatasi oleh para peneliti dengan menggunakan dye alami yang diekstrak dari tumbuhan [6], [7], [8], [9], [10], namun efisiensi yang dihasilkan masih kecil. Permasalahan ketiga adalah penggunaan elektrolit cair. Idealnya dalam sel surya organik, elektrolit harus memiliki sifat-sifat mekanik yang baik, stabil secara kimia dan elektrokimia, transpor ion yang tinggi, *inert*, dan konduktifitas yang baik [6]. Sedangkan elektrolit yang berbentuk cair sangat mudah menguap sehingga *life time* sel surya sangat singkat.

Oleh karena itu untuk mengatasi masalah di atas, dilakukanlah penambahan serbuk Grafit pada TiO₂ untuk memperkecil *bandgap* TiO₂ tersebut.

Disamping harganya murah, Grafit juga memiliki keunggulan sifat-sifat mekanik dan elektronik yaitu pita energi 0.04 eV, *Resistivity* $50 \mu\Omega\text{cm}$ dan konduktifitas panas $3000 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ [11], sehingga membuatnya sangat cocok untuk aplikasi sel surya. Selain itu penelitian ini juga menggunakan *dye* alami yang diekstrak dari tumbuhan kulit buah manggis dan buah delima. Elektrolit yang akan digunakan berupa Polimer elektrolit yang di-coating dengan bahan-bahan anti cahaya matahari dan oksidasi dengan udara sekitar.

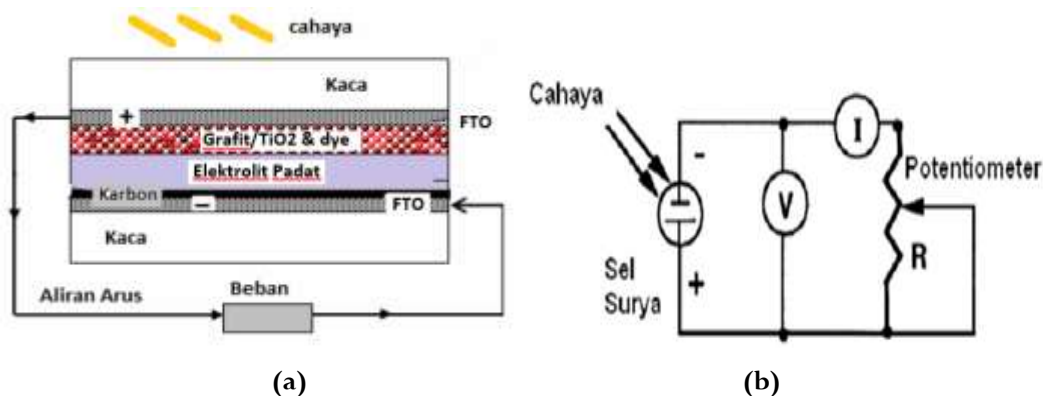
METODE

Diawali dengan pembersihan substrat FTO dengan menggunakan alat *Ultrasonic Cleaner*, dan dikeringkan menggunakan *hair dryer*. Kemudian dilakukan pembuatan koloid grafit/TiO₂ dengan cara melarutkan Polivinil Alkohol (PVA) ke dalam *aquadest*. Selanjutnya ditambahkan serbuk TiO₂ dan diaduk sampai terbentuk pasta/koloid. Kemudian dilakukan penambahan serbuk grafit dengan variasi (0 %, 8 %, 10 %, 12%, 14%) sebagai pengotor yang telah dilarutkan kedalam *aquades* hingga terbentuk koloid grafit/TiO₂. Kemudian Koloid grafit/TiO₂ dideposisikan pada substrat FTO dengan teknik *Doctor Blade* hingga membentuk lapisan tipis yang merata. Kemudian lapisan dianalisis dengan menggunakan UV-Vis, *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Dye antosianin diekstrak dari kulit buah manggis dan buah delima masing-masing sebanyak 20 gram yang telah dipotong kecil-kecil digerus dengan sebuah mortar hingga halus, selanjutnya direndam (maserasi) di dalam pelarut yang terdiri metanol, asamasetat, dan *aquadest* selama 24 jam. Ekstrak *dye* antosianin disaring menggunakan kertas saring. Kemudian dilakukan pengabsorbsian *dye* kelapisan grafit/TiO₂.

Tahap preparasi counter elektroda karbon menggunakan *graphite* dari pensil 2B (Faber Castel) sebagai sumber karbon dengan cara mengarsirkan pensil 2B pada bagian konduktif FTO hingga merata, kemudian kaca dibakar di atas nyala lilin dengan posisi arsiran menghadap api. Pembakaran dilakukan hingga jelaga api menutupi permukaan konduktif FTO.

Larutan elektrolit yang digunakan adalah pasangan redok (I^-/I_3^-) dalam bentuk elektrolit padat berbasis PEG (Polietilen Glikol) 4000 yang dilarutkan ke dalam kloroform hingga berbentuk gel, kemudian di tempat lain di larutkan kalium iodida (KI) dalam asetonitril, diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, selanjutnya ditambahkan 0,127 gr (0,05M) I_2 dan diaduk lagi sampai homogen. Setelah itu kedua larutan di campurkan dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, selanjutnya larutan disimpan dalam botol tertutup.



Gambar 1. (a) Struktur Lapisan Komponen DSSC; **(b)** Diagram skematik rangkaian uji arus-tegangan

Tahapan akhir adalah perakitan (*assembly*) dan pengujian sel surya DSSC. Perakitan DSSC dilakukan dengan menggunakan teknik lapisan *sandwich* (Gambar 1.a), yaitu dengan cara meletakkan substrat FTO yang telah dilapisi karbon pada bidang datar dengan permukaan yang terlapis karbon menghadap ke atas, kemudian di atasnya di letakan elektrolit padat dan substrat FTO yang telah

dilapisi grafit/TiO₂ dan *dye* sedemikian rupa, sehingga lapisan grafit/TiO₂ dan *dye* menghadap ke lapisan karbon dengan struktur *sandwich*, kemudian sisi kiri dan kanan sel dijepit dengan penjepit kertas agar tidak bergerak dan sel siap untuk diuji.

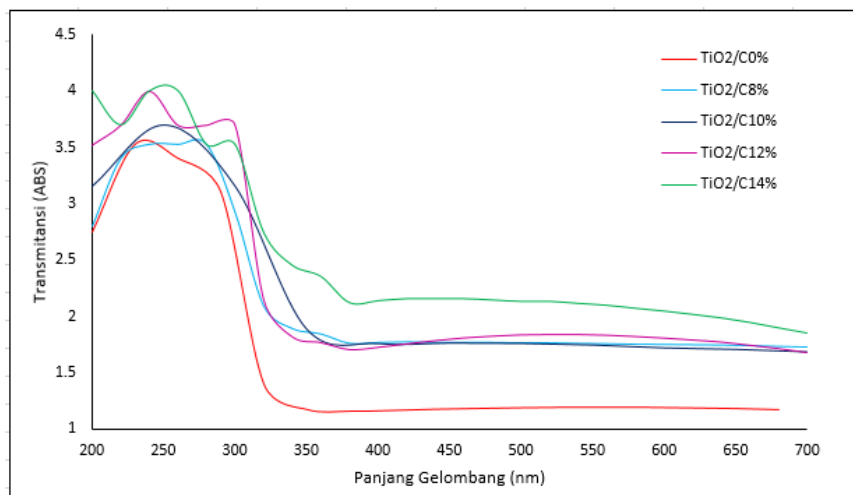
Karakteristik arus-tegangan (*I-V*) diukur dengan merangkai sel surya pada rangkaian uji seperti diperlihatkan pada Gambar (1.b). Sumber

cahaya yang digunakan adalah lampu pijar dengan daya 100 W (Philips) yang dapat diatur intensitasnya. Penyinaran menggunakan lampu bertujuan agar besarnya foton yang mengenai *DSSC* dapat dikontrol.

Pengukuran arus dan tegangan (I-V) akan dilakukan dengan memvariasikan besarnya intensitas cahaya dari lampu, yaitu 250 *lux*, 500 *lux*, 750 *lux* dan 1000 *lux*. Hal ini bertujuan untuk melihat bagaimana pengaruh intensitas cahaya terhadap besar arus dan tegangan yang dihasilkan.

Hasil karakterisasi UV-Vis terhadap pendopongan grafit (0%, 8%, 10%, 12% dan 14%) dapat dilihat pada Gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Transmitansi lapisan TiO₂ doping grafit 0%, 8%, 10%, 12%, 14%

Pada Gambar 2 menunjukkan adanya perubahan transmitansi yang cukup tajam dari kelima sampel lapisan TiO₂ doping grafit 0%, 8%, 10%, 12% dan 14% pada rentang panjang gelombang 200 nm sampai 350 nm yang merupakan daerah panjang gelombang *ultraviolet* (UV). Tampak terlihat semakin besar penambahan doping grafit pada TiO₂ nilai transmitansi cenderung meningkat.

Perubahan nilai transmitansi ini menunjukkan adanya serapan optik yang cukup tinggi pada panjang gelombang tersebut.

Perhitungan energy gap dari hasil UV-Vis menggunakan persamaan Swanepoel dan metode *Tauc Plot* diperoleh :

Tabel 1. Energi gap TiO₂ doping grafit 0%, 8%, 10%, 12%, 14%

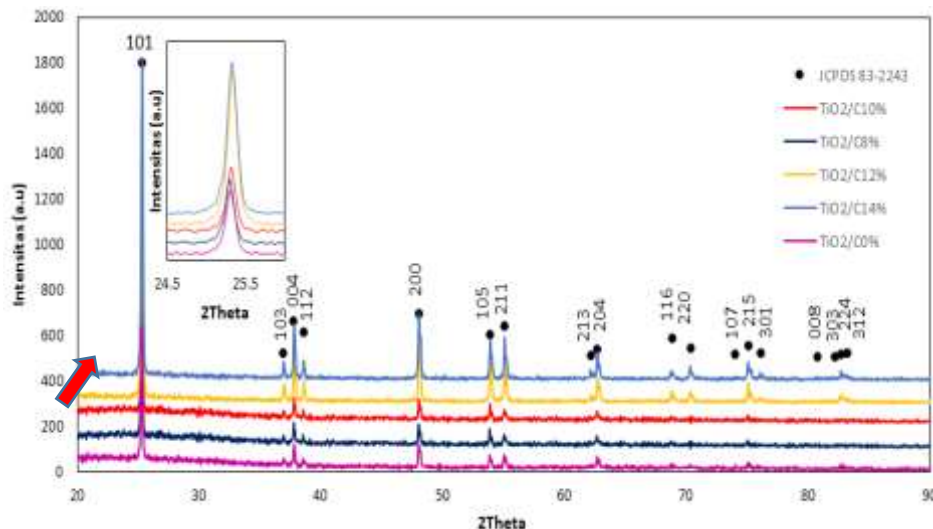
Lapisan TiO ₂ doping grafit	Energi gap
TiO ₂ /C0%	3,4 eV
TiO ₂ /C8%	3,08 eV
TiO ₂ /C10%	2,85 eV
TiO ₂ /C12%	2,7 eV
TiO ₂ /C14%	2,2 eV

Pada Tabel 1 dapat terlihat bahwa semakin besar nilai doping yang diberikan energi gap dari TiO₂ doping grafit semakin mengecil, meskipun penurunan energi gap tidak linier dengan besar

kenaikan doping yang diberikan, ini dimungkinkan karena beberapa faktor seperti permukaan yang tidak rata dari lapisan TiO₂ yang dapat menyebabkan refleksi cahaya dengan sudut yang

berbeda sehingga seolah-olah terjadi penyerapan pada panjang gelombang sinar tampak. Dengan penurunan energi gap dari TiO₂ hasil pendopingan tersebut maka energi cahaya (foton) yang

dibutuhkan untuk eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi akan lebih kecil. Energi gap terkecil diperoleh pada pendopingan grafit sebesar 14%.



Gambar 3. Pola difraksi lapisan grafit/TiO₂

Pada **Gambar 3** terlihat kelima lapisan grafit/TiO₂ memiliki puncak-puncak pada sudut 2θ disekitar 25°, 36°, 37°, 38°, 48°, 53°, 55°, 62°, 68°, 70°, 75°, 76° dan 82° yang bersesuaian dengan puncak-puncak yang dimiliki oleh fase anatase berdasarkan data JCPDS No. 83-2243. Puncak-puncak tersebut bersesuaian dengan orientasi kristal pada bidang (101), (103), (004), (112), (200), (105), (211), (213), (204), (116), (220), (215), dan (224). Puncak tertinggi dimiliki oleh orientasi bidang (101). Tampak terlihat semua puncak pure dimiliki fase anatase dengan struktur kristal tetragonal, tidak ada sedikitpun puncak rutile yang muncul. Fase kristal anatase menandakan TiO₂ mempunyai sifat foto katalik yang tinggi.

Ukuran kristal (*Apparent Crystal Size*) dari kelima sampel lapisan grafit/TiO₂ diperoleh dari data hasil XRD yang dapat dihitung menggunakan Metode *Debye Scheerer*:

$$D = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Dengan D adalah ukuran kristal, k adalah konstanta sebesar 0,9 dan λ adalah panjang gelombang sumber sinar-X (dalam hal ini Cu $K\alpha$ sebesar 1,542 Å), dan β adalah setengah lebar puncak difraksi (dalam satuan radian). Nilai β yang digunakan dalam hal ini adalah nilai puncak maksimum yang dimiliki puncak anatase pada orientasi bidang (101).

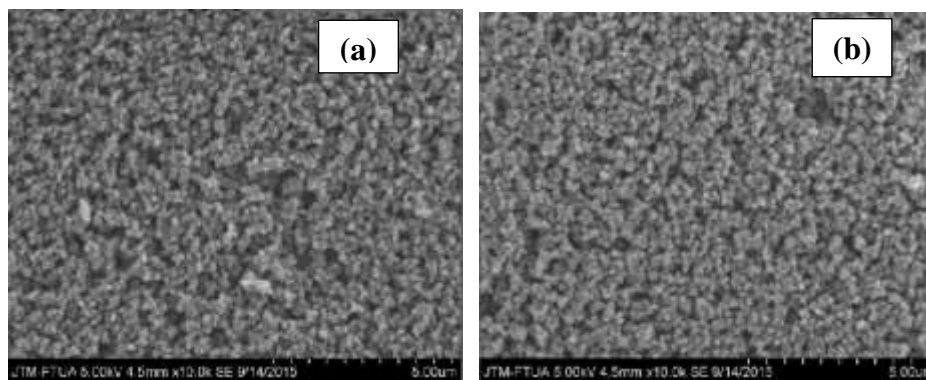
Melalui perhitungan kuantitatif menggunakan persamaan (1), didapatkan data ukuran kristal untuk kelima sampel seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 : Ukuran kristal grafit/TiO₂

Sampel	Ukuran kristal (nm)
TiO ₂ /C0%	59,86
TiO ₂ /C8%	55,87
TiO ₂ /C10%	55,20
TiO ₂ /C12%	53,25
TiO ₂ /C14%	52,72

Pada Tabel 2 dapat diamati bahwa sampel TiO₂ tanpa pendopongan grafit menghasilkan ukuran kristal yang lebih besar dibandingkan sampel dengan pendopongan. Pendopongan grafit dapat memperkecil ukuran agregat dari TiO₂ sehingga ukuran kristal dengan pendopongan lebih kecil seiring dengan bertambah besarnya persentase pendopongan yang diberikan. Ukuran kristal TiO₂ paling kecil diperoleh pada sampel dengan pendopongan grafit 14% yaitu sebesar 52,72 nm. Ukuran kristal yang kecil akan memiliki luas permukaan yang lebih luas, dan ini sangat menguntungkan jika di aplikasikan pada sel surya DSSC. Selain itu derajat kristalinitas sampel ini cukup baik dilihat dari intensitas puncak difraksi

yang cukup tinggi dan tegas untuk pendopongan grafit 12% dan 14% (Gambar 3). Dengan derajat kristalinitas yang baik maka proses difusi elektron di TiO₂ akan lebih cepat yang implikasinya proses tranfer elektron untuk DSSC secara keseluruhan akan lebih tinggi sehingga akan meningkatkan efisiensi sel surya [12]. Selain itu ukuran kristal yang diperoleh dari kelima sampel TiO₂ yang berskala nanometer, memiliki luas permukaan yang lebih luas yang dapat menampung dye lebih banyak karena semakin kecil ukuran kristal, semakin banyak rongga yang terbentuk dan semakin banyak dye yang akan terabsorpsi sehingga foton yang terserap semakin banyak juga [13]. Semua hal tersebut secara keseluruhan dapat meningkatkan performa DSSC.



Gambar 4: Hasil SEM Lapisan Grafit/TiO₂ dengan perbesaran 10.000 kali (a) TiO₂/C8% ; (b) TiO₂/C10%

Hasil analisis SEM menunjukkan morfologi lapisan yang merata dan ukuran partikel yang homogen, dengan partikel berbentuk bulat dengan ukuran partikel berada dalam range 0,19 μm s/d 0,25 μm .

Pada Tabel 3 dan Tabel 4 terlihat analisi pengujian I-V pada sel surya DSSC menggunakan dye kulit manggis dan buah delima, menunjukkan bahwa penambahan doping grafit dapat meningkatkan efisiensi sel surya. Sel surya menghasilkan efisiensi tertinggi adalah sel surya TC14M yang menggunakan dye kulit buah manggis, yaitu 2,68 % pada intensitas penyinaran 250 Lux.

Pada Tabel 3 dan Tabel 4 secara keseluruhan dapat dilihat nilai arus *short circuit* (I_{sc}) dan tegangan *open-circuit* (V_{oc}) sel surya DSSC dye kulit manggis dan buah delima mengalami peningkatan seiring meningkatnya intensitas penyinaran yang diberikan dan peningkatan doping grafit. Peningkatan nilai arus dan tegangan tersebut juga disebabkan karena nilai energy gap yang semakin mengecil dengan meningkatnya persentase doping grafit. Energy gap yang kecil maka energy (foton) yang diperlukan untuk eksitasi elektron dari

pita valensi ke pita konduksi juga kecil dan hal tersebut akan membantu dalam transport elektron sehingga arus dan tegangan yang di hasilkan juga relative mengalami peningkatan. Kenaikan arus dan tegangan juga disebabkan karena ukuran kristal yang semakin mengecil dengan meningkatnya presentase doping grafit pada TiO₂. Ukuran kristal yang semakin mengecil maka luas permukaan partikel per volume menjadi semakin besar. Sehingga, pori antar partikel akan semakin banyak dan semakin banyak pula molekul dye yang bisa terserap.

Nilai arus dan tegangan yang terbesar dapat dilihat pada sel surya TC14M yaitu sel surya dengan pendopongan grafit 14% sebesar 1,1 mA dan 469 mV. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Smestad bahwa nilai tegangan *open-circuit* yang dihasilkan oleh DSSC dengan ekstraksi bahan-bahan alami sebagai *sensitizer*-nya seharusnya berkisar antara 400 mV hingga 500 mV [14].

Secara keseluruhan dari hasil pengukuran performansi sel surya DSSC dapat di lihat bahwa elektrolit gel padat yang digunakan cukup stabil, hal tersebut dapat dilihat dari kestabilan kenaikan nilai arus dan tegangan dengan kenaikan intensitas cahaya yang diberikan.

Tabel 3: Parameter performasi sel surya DSSC dye kulit manggis lapisan grafit/TiO₂

Intensitas cahaya (Lux)	TC0M				TC8M				TC10M				TC12M				TC14M			
	250	500	750	1000	250	500	750	1000	250	500	750	1000	250	500	750	1000	250	500	750	1000
I_{sc} (mA)	0,06	0,05	0,08	0,1	0,09	0,1	0,12	0,15	0,22	0,23	0,27	0,28	0,2	0,24	0,28	0,35	0,3	0,45	0,7	1,1
V_{oc} (mV)	179,7	177	183,3	188,8	179	181,2	183,8	199,6	316,5	321,7	345	352	341	368,2	375,4	395	446,5	451,6	463,1	469
P_{max} (μW)	3,77	3,04	5,75	6,16	7,81	8,73	11,7	13,57	38,95	37,79	46,64	48,0	41,70	41,99	47,6	73,73	53,36	83,4	114	148,8
FF	0,35	0,34	0,39	0,32	0,49	0,48	0,53	0,43	0,56	0,51	0,50	0,49	0,61	0,48	0,45	0,55	0,40	0,41	0,35	0,28
η (%)	0,19	0,08	0,10	0,08	0,39	0,21	0,20	0,17	1,96	0,95	0,78	0,60	2,1	1,06	0,80	0,95	2,68	2,1	1,91	1,87

Tabel 4 : Parameter performasi sel surya DSSC dye buah delima lapisan grafit/TiO₂

Intensitas cahaya (Lux)	TC0D				TC8D				TC10D				TC12D				TC14D			
	250	500	750	1000	250	500	750	1000	250	500	750	1000	250	500	750	1000	250	500	750	1000
I_{sc} (mA)	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05	0.08	0.09	0.11	0.08	0.11	0.13	0.16	0,23	0,29	0,38	0,44	0,26	0,33	0,42	0,6
V_{oc} (mV)	159	165	168.7	172.1	162	168.8	173	185.5	296	310	332,5	340	300	328	345	351	320	335	347	354
P_{max} (μW)	1,84	2.48	3.88	4.92	3,12	4,59	6,41	8,94	11,41	18,29	21,13	30,9	30,64	43,33	52,36	77,71	43,01	49,55	70,3	89,01
FF	0.39	0.38	0.46	0.41	0.38	0.34	0.41	0.44	0,48	0,54	0,49	0,57	0,44	0,46	0,40	0,50	0,52	0,49	0,48	0,42
η (%)	0.09	0.06	0.06	0.06	0.16	0,12	0,11	0,11	0,57	0,46	0,35	0,39	1,54	1,09	0,88	0,98	2,16	1,25	1,18	1,12

KESIMPULAN

Penambahan grafit pada TiO₂ mampu menurunkan energi gap dan ukuran kristal TiO₂, terkecil diperoleh pada penambahan 14% grafit yaitu sebesar 2,2 eV dan 52,72 nm. Dengan peningkatan intensitas penyinaran yang dilakukan, menghasilkan nilai arus dan tegangan yang semakin besar. Kenaikan arus dan tegangan tidak selalu sebanding dengan kenaikan intensitas penyinaran. Dari rumus penghitungan efisiensi didapatkan nilai efisiensi tertinggi didapatkan pada intensitas penyinaran rendah, yaitu pada penelitian ini adalah pada intensitas 250 Lux pada sel surya TC14M yaitu 2,68 %

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Jambi yang telah membiayai penelitian dengan skim dana DIPNBP Fakultas sains dan Teknologi Universitas Jambi tahun anggaran 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- A. K. K. Kyaw, H. Tantang, T. Wu, L. Ke, J. Wei, H. V. Demir, Q. Zhang and X. W. Sun. 2012. *Dye-sensitized solar cell with a pair of carbon-based electrodes*. *J. Phys. D*, vol. 45, pp. 165103.
- Buraidah, M. H., Teo, L. P., Yusuf, S. N. F., Noor, M. M., Kufian, M. Z., Careem, M. A., Majid, S. R., Taha, R. M., Arof, A. K. 2011 : *TiO₂/Chitosan-NH₄I(+I₂)-BMII-Based Dye-Sensitized Solar Cells with Anthocyanin Dyes Extracted from Black Rice and Red Cabbage*. *International Journal of Photoenergy*, Article ID 273683, 11 pages.
- Fahyuan, HD., Dahyunir D., Astuti 2013, *Sintesis Nanopori TiO₂ dan Pengaplikasiannya Pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*, Tesis Program Studi Fisika Program Pasca Sarjana Universitas Andalas, Padang.
- Garcia, dkk. 2003. *Photoelectrochemical solar cell using extract of Eugenia jambolana Lam as a natural sensitizer*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Vol. 75(2), hal. 163-165.
- Maddu, Akhiruddin, dkk. 2007. *Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitasi Dye*, Departemen FISIKA FMIPA, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- M. Grätzel. 2003. "Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 4(2), pp.145-153.
- Saehana, S., Yuliza, E., Arifin, P., Khairurrijal, dan Abdullah, M. 2013. *DSSC from Black Rice and Its Performance Improvement by depositing interconnected Copper (Copper Bridge) into the Space between TiO₂ Nanoparticles*. *Material Science Forum*,
- Septina, wilman, dkk. 2007. *Pembuatan Solar Cell Murah dengan Bahan-Bahan Organik-Inorganik*. Laporan Penelitian Bidang Energi. ITB : Bandung.
- Smestad. 1998. *Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology : A natural Dye-sensitized Nanocrystalline Energy Converter*. *J. Chem. Educ*, 75, 752-75
- Takeshi morikawa, Ryoji Asahi, Takasi ohwaki, Koyu aoki. 2003. *Visible-light photocatalyst-Nitrogen doped Titanium Dioxide. R&D Review of Toyota CRDL*. Vol.40 No. 3. hal 45-49.
- T. Adachi and H. Hoshi. 2013. *Preparation and characterization of Pt/carbon counter electrodes for dye-sensitized solar cells*." *Materials Letters*, vol.91, pp. 15-18.
- Vu, A. T., Nguyen, Q. T., Bui, Thi Hai Linh, Tran, M. C., Dang, T. P. And Thi Kim Hoa Tran .2010. *Synthesis and Characterization of TiO₂ Photocatalyst Doped by Transition Metal Ions (Fe³⁺, Cr³⁺, and V⁵⁺)*. *Adv.Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol*, 015009 (4pp).
- Yuliza, E., Saehana, S., Arifin, P., Khairurrijal, dan Abdullah, M. 2013. *Enhance Performance of DSSC from Black Rice as Dye & Black Ink as Counter Electrodes with Inserting Copper on the Space between TiO₂ Particles by Using Elektroplating Methods*. *Material Science Forum*, pp 85-92, Trans Tech Publications
- Zhou, H., Wu, L., Gao, Y., Ma, T. 2011: *Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers*. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 219 pp 188–194